

## **Modellazione numerica degli alvei fluviali mediante l'uso di DSM**

Riccardo Amela (\*), Mattia De Agostino (\*\*), Claudia Soffia (\*\*\*)

(\* ) Laureando in Ingegneria Civile, Politecnico di Torino, Sede di Vercelli, Piazza Sant'Eusebio 5  
13100 Vercelli, riccardo.amela@studenti.polito.it

(\*\*) Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Geotecnologie (DITAG),  
Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Tel. 011 0907661, Fax 011 0907699, mattia.deagostino@polito.it

(\*\*\*) Politecnico di Torino, Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Infrastrutture Civili (DITIC),  
Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Tel. 011 0905647, Fax 011 0905698, claudia.soffia@polito.it

### **Riassunto**

Il presente lavoro mostra un metodo alternativo per la generazione delle mappe di rischio fluviale, basato sull'impiego congiunto di un codice di modellazione fluviale molto diffuso in campo professionale (HEC-RAS) e dei modelli digitali del terreno (DTM) e delle superfici (DSM). In particolare, l'utilizzo di specifici applicativi del software di calcolo consente di estrarre dal DTM i dati geometrici delle sezioni necessarie per la modellazione idraulica dell'alveo fluviale e, successivamente, di importare i risultati di tali simulazioni in un ambiente GIS per la creazione di mappe di inondazione e per la definizione delle aree a rischio basate sugli ostacoli riportati nel DSM.

### **Abstract**

This work is aimed at investigating an alternative method for the generation of river risk maps, based on the joint use of a numerical code widespread in the professional field (HEC-RAS) and of digital terrain and surface models (DTM/DSM). The use of specific applications, in particular, allows the geometric data needed for hydraulic modeling of the riverbed to be directly extracted from the DTM and after that the results of the simulations to be imported in a GIS environment to create flood maps and define the risk areas using the obstacles detected by the DSM.

### **Introduzione**

Il progressivo aumento degli eventi alluvionali estremi, ad esempio quelli che hanno colpito il Nord-Ovest dell'Italia (2000, Figura 1) e le città di Cagliari (2008) e Vicenza (2010), hanno riportato l'interesse verso la possibilità di disporre di mappe delle fasce di rischio definite non solamente attraverso un approccio statistico, ma anche mediante l'integrazione con il maggior numero di informazioni possibili deducibili dai dati spaziali a disposizione delle Pubbliche Amministrazioni.



Figura 1 – Immagini dell'alluvione del Fiume Po nell'ottobre del 2000.

La mappatura, da parte delle Autorità di Bacino, delle zone a rischio di inondazione mediante piani stralcio di difesa dalle alluvioni si inserisce tra i cosiddetti interventi “non strutturali”, ossia tra gli interventi di carattere amministrativo finalizzati alla riduzione dei danni conseguenti ad una piena, senza tuttavia che si intervenga direttamente sulla causa.

Il concetto di “rischio” normalmente adottato è conforme con quanto proposto dalle commissioni tecnico-scientifiche dell'UNESCO. In esso sono contenute le seguenti definizioni funzionali:

- Pericolosità o *Hazard* (H): la probabilità che un evento dannoso di una certa intensità si verifichi in un dato periodo di tempo, in una data area e per determinate cause di innesco;
- Elementi a rischio (E): popolazione, proprietà, attività economiche a rischio in una data area;
- Vulnerabilità (V): grado di perdita atteso su un dato elemento o gruppi di elementi a rischio derivante da un potenziale fenomeno distruttivo di una data intensità. La vulnerabilità viene espressa in una scala da 0 a 1 (rispettivamente, nessuna perdita e perdita totale);
- Rischio specifico ( $R_s$ ): grado di perdita atteso a causa di un determinato fenomeno naturale di data intensità; è funzione della pericolosità e della vulnerabilità:  $R_s = H \times V$ ;
- Rischio totale (R): si intende il grado di perdite attese in termini di vite umane, feriti, danni alla proprietà ed alle infrastrutture, danni diretti ed indiretti all'economia a causa di una determinata pericolosità geologica.

Quindi il rischio totale R si esprime applicando il rischio specifico  $R_s$  agli elementi a rischio (E):

$$R = H \cdot V \cdot E = R_s \cdot E \quad [1]$$

I criteri per la perimetrazione degli ambiti di pericolosità trovano le loro basi su due specifici ambiti: il primo di carattere idraulico e il secondo, invece, di carattere geomorfologico (Covelli, 2006). In particolare, con riferimento agli ambiti di pericolosità idraulica, la perimetrazione delle aree di inondazione avviene in funzione del periodo di ritorno del fenomeno di piena, dei livelli idrici attesi e della velocità raggiunta dalla corrente. In quest'ambito è pertanto possibile riconoscere un *iter* operativo, comune a tutte le Autorità di Bacino nazionali, per la perimetrazione delle aree inondabili, basato sulla definizione di pericolosità in funzione della probabilità di inondazione e delle caratteristiche dell'onda di sommersione.

La procedura di perimetrazione degli ambiti di pericolosità idraulica può essere riassunta in quattro passaggi:

1. individuazione e caratterizzazione dell'ambito fisico oggetto di studio, al fine di definire i tratti di alveo ritenuti idrologicamente confrontabili per dimensionamento geometrico, e attribuzione dei coefficienti di scabrezza;
2. analisi idrologica, mediante lo sviluppo di un modello idrologico finalizzato a determinare gli eventi di piena di progetto per differenti periodi di ritorno;

3. modellazione idraulica, per la determinazione dei livelli idrici associati agli eventi di piena, anche nel caso di sormonto o di rottura arginale o di presenza di infrastrutture esistenti o di progetto che interagiscono con l'evoluzione del processo di piena;
4. delimitazione delle aree inondabili mediante il confronto dei risultati della simulazione idraulica con un modello morfologico del terreno.

Se la procedura sopra descritta è pressoché univoca per le diverse Autorità di Bacino, differenti sono le tecnologie impiegate e le ipotesi formulate per giungere alla stesura di un piano. Inoltre, ogni Autorità di Bacino incrocia in maniera differente i tre fattori “tempo di ritorno”, “livelli idrici attesi” e “velocità della corrente dell’onda di piena” per definire o delle specifiche categorie o aree di pericolosità (criterio adottato dalle Autorità di Bacino dell’Arno e del Tevere) oppure tre fasce fluviali (Figura 2) a diverso grado di pericolosità (metodologia seguita, per esempio, dalle Autorità di Bacino del Po e del Liri-Garigliano-Volturno).

Queste ultime sono:

- Fascia A o di deflusso della piena: costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente (80%) del deflusso della corrente per la piena di riferimento;
- Fascia B o di esondazione: esterna alla Fascia A, costituita dalla porzione di territorio interessata da inondazione al verificarsi della piena di riferimento. Il limite di tale fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento, ovvero sino alle opere idrauliche di controllo delle inondazioni esistenti o programmate;
- Fascia C o di inondazione per piena catastrofica: costituita dalla porzione di territorio esterna alla Fascia B, che può essere interessata da inondazione assumendo come riferimento la massima piena storica registrata o in assenza di essa, la piena di ritorno a 500 anni per l’Autorità di bacino del Po e la piena di ritorno a 300 anni per l’Autorità di Bacino del Liri-Garigliano-Volturno.

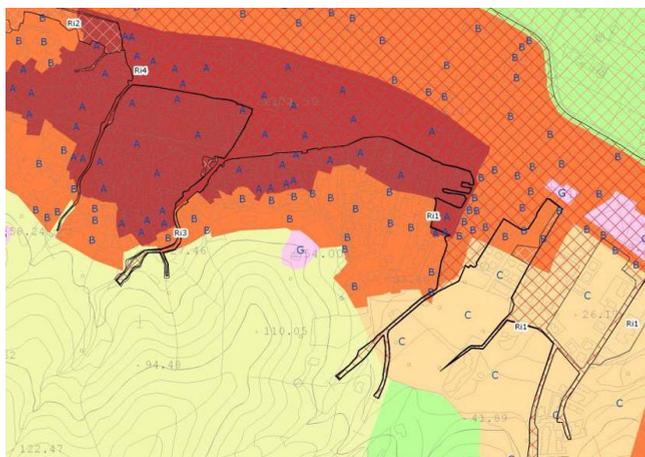


Figura 2 – Definizione delle fasce fluviali - comune di Muravera (CA).

Quanto sinora esposto evidenzia ancora di più la necessità di disporre di uno strumento, il più uniformabile possibile, in grado di generare ed aggiornare rapidamente tali mappe in funzione delle modifiche, di natura antropica e non, cui possono essere soggetti gli alvei stessi. Attualmente, infatti, le fasce di rischio idraulico vengono definite facendo uso di *software* di modellazione numerica che utilizzano geometrie ricavate partendo da rilievi topografici di dettaglio, realizzati spesso *ad hoc*. Sebbene tali rilievi siano spesso caratterizzati da precisioni molto elevate, essi

coinvolgono una porzione limitata dell'alveo fluviale, estendendosi al più alle aree golenali. A giudizio degli Autori, la scarsa conoscenza delle caratteristiche morfologiche e urbanistiche al di fuori delle estensioni del rilievo rappresenta un aspetto critico della procedura di stima, che può essere risolto attraverso l'integrazione con tutte le informazioni geografiche disponibili per l'area di interesse.

### Il rilievo topografico degli alvei fluviali

Il rilievo topografico di un alveo fluviale ha la finalità di valutare, oltre alla geometria del corso d'acqua, anche i parametri morfologici dello stesso e la loro evoluzione indotta dal regime idrologico, permettendo così di quantificare l'entità dell'erosione e del deposito (AA.VV., 1996).

Generalmente, tale operazione include sia un rilievo planimetrico del fiume sia un numero di sezioni trasversali con una distribuzione ed un'interdistanza da stabilirsi in funzione dell'andamento planimetrico e della sinuosità del corso d'acqua.

Per quanto concerne i parametri che descrivono la morfologia di un alveo fluviale, questi sono, ad esempio la lunghezza, la larghezza, l'indice di intrecciamento, l'indice di sinuosità, il raggio di curvatura e la lunghezza del meandro (tutti estratti dal rilievo planimetrico, Figura 3.a), la larghezza, la profondità, la quota del fondo, l'area della sezione ed il perimetro bagnato, il raggio idraulico, il rapporto di forma, l'altezza e inclinazione delle sponde (partendo dalle sezioni trasversali, Figura 3.b).

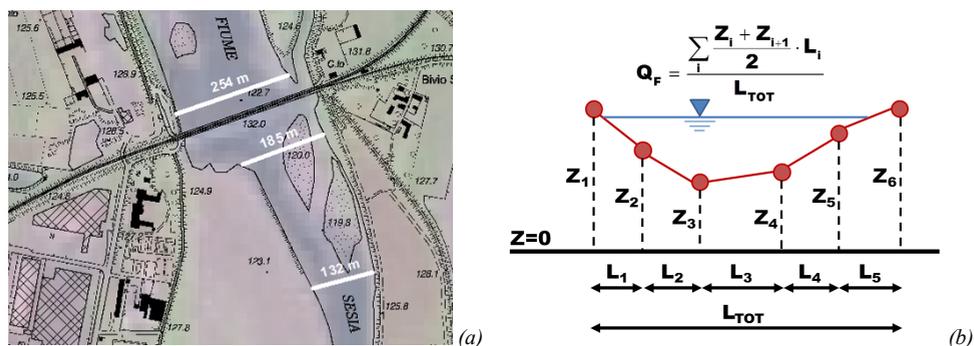


Figura 3 – Misura dei parametri morfologici di un alveo fluviale: larghezza dell'alveo (a) e quota di fondo (b).

Generalmente, le zone emerse in prossimità del corso d'acqua vengono rilevate utilizzando la strumentazione e le tecniche usuali dei rilievi topografici, servendosi di stazioni totali e, laddove la copertura arborea lo consenta, di strumenti GNSS. Per quanto concerne invece il rilievo della sezione bagnata, occorre applicare tecniche diversificate in relazione alle condizioni operative dei siti di misura. Infatti, se nelle sezioni agibili a guado è sempre possibile ricorrere, oltre che ad una asta centimetrata, agli strumenti sopra citati, laddove invece le sezioni siano accessibili solamente attraverso l'ausilio di una imbarcazione occorre munirsi di strumenti specifici, ad esempio un ecoscandaglio digitale. Le misure batimetriche eseguite con l'ecoscandaglio devono poi essere georeferenziate attraverso gli strumenti topografici di cui sopra (Figura 4).

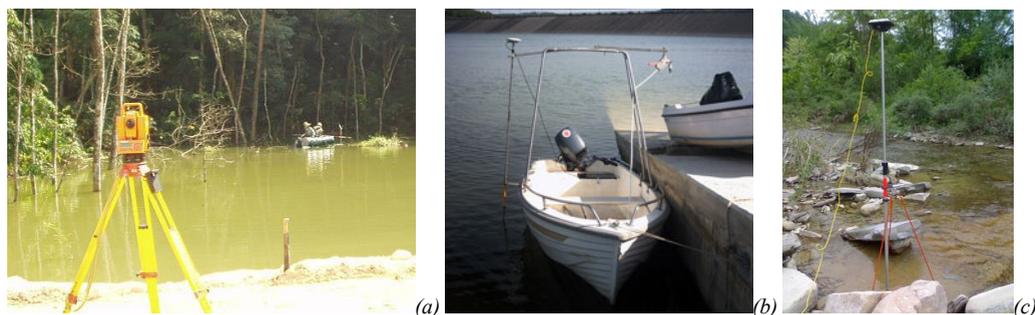


Figura 4 – Strumenti per il rilievo topografico degli alvei fluviali: stazione totale (a), GNSS su barca (b) e GNSS su una sezione accessibile a guado (c).

Oltre all'aspetto strumentale, occorre considerare che il personale da adibire alle operazioni di rilievo deve possedere una preparazione tecnica e una esperienza specifici in merito ai seguenti aspetti (Surian et al., 2009):

- capacità di distribuire i punti di misura in modo rispondente alla morfologia della sezione, evidenziando i punti più significativi per la descrizione della dinamica fluviale;
- capacità operative a guado e da imbarcazione tali da garantire condizioni di sicurezza nell'esecuzione dei rilievi batimetrici;
- capacità di osservazione e annotazione delle caratteristiche del tratto di alveo influente sulla sezione di rilievo, con riferimento ai processi evolutivi di erosione e di deposito e di assetto planimetrico.

Quanto sopra esposto rappresenta lo stato dell'arte relativamente al rilievo degli alvei fluviali, ad oggi eseguiti per la maggior parte secondo le linee guida sopra sintetizzate. Occorre però evidenziare come le suddette modalità di rilievo topografico richiedano un numero considerevole di ore/squadra, con un conseguente aumento dei costi di realizzazione che si sommano a quelli di ammortamento delle strumentazioni e al costo relativo all'affitto (o all'ammortamento) del mezzo natante necessario nelle sezioni più profonde.

Con la premessa, doverosa, che un rilievo topografico di dettaglio è sempre preferibile laddove sia necessario conoscere nella maniera più accurata possibile l'alveo fluviale e le sue caratteristiche morfologiche (salti di fondo, cambi di pendenze, accentuata sinuosità dell'alveo...), occorre tuttavia considerare che, per un insieme sempre più vasto di applicazioni, un livello di dettaglio centimetrico risulta essere persino eccessivo. Un altro aspetto da considerare è relativo all'estensione del rilievo topografico tradizionale: per i problemi già citati di velocità del rilievo e di costo di realizzazione, rilievi di questo tipo hanno un'estensione che raramente supera qualche decina di chilometri in lunghezza (lungo l'asta fluviale), e poche centinaia di metri di larghezza oltre al livello dell'argine (trasversalmente alla direzione dell'asta).

La scansione laser da piattaforma aerea (LiDAR - *Light Detection And Ranging*) rappresenta una metodologia di acquisizione dati ad elevata precisione, particolarmente adatta al rilievo di bassi fondali in fascia costiera (Cicciodemarco, 2003; Ciavola et al., 2004; AA.VV. 2009) e di alvei fluviali non troppo profondi (Casella, 2002), che consente di abbracciare aree sempre più vaste e con un livello di errore al più decimetrico ( $\pm 4\text{cm}$  sistematici e  $\pm 6\text{cm}$  accidentali, Brovelli et al., 2004).

Il prodotto finale di un rilievo LiDAR è rappresentato da una nuvola di punti, dei quali si conoscono le coordinate planimetriche, la quota ed il valore dell'intensità riflessa. Dall'analisi dei punti riflessi è poi possibile individuare un ritorno multiplo del segnale e, in presenza di vegetazione non

eccessivamente densa, è possibile ottenere l'informazione altimetrica sottostante, generando un segnale riflesso a vari livelli della fronda e del suolo (Figura 5).

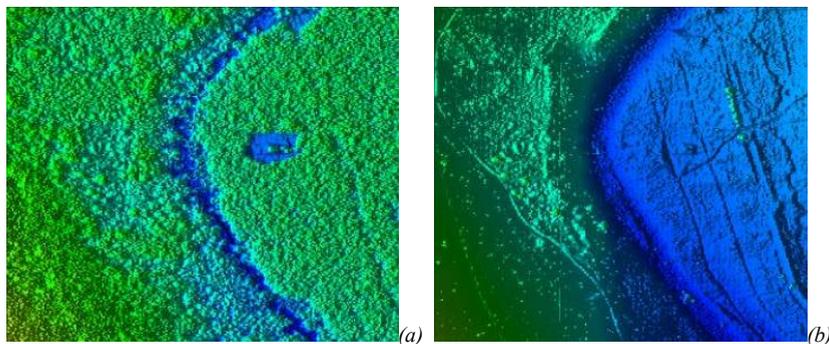


Figura 5 – DSM di un alveo fluviale ottenuto tramite rilievo LiDAR: primo impulso (a) ed ultimo impulso (b) del segnale. Si noti come il segnale laser penetri, con l'ultimo impulso, oltre la vegetazione dell'area golenale.

Dalla nuvola di punti così ottenuta è poi possibile ottenere, per elaborazioni successive, un modello digitale della superficie (DSM, *Digital Surface Model*) e un modello digitale del terreno (DTM, *Digital Terrain Model*), con una risoluzione planimetrica dell'ordine del metro, funzione dalla densità dei punti a terra (e quindi dalla risoluzione angolare dello strumento laser a scansione e dalla quota di volo).

### La modellazione numerica degli alvei fluviali

Nel passato, i più importanti problemi di dinamica fluviale sono stati affrontati attraverso un approccio di tipo sperimentale, grazie anche allo sviluppo di grandi laboratori. Le possibilità messe a disposizione oggi dal calcolo elettronico e gli sviluppi più recenti dell'analisi numerica hanno permesso di affrontare gli stessi problemi in termini numerici. In particolare, i modelli idraulici mono- e bi-dimensionali utilizzati per la definizione della propagazione dell'onda di piena e delle aree potenzialmente allagabili sono ormai numerosi: HEC-RAS, FLOW2D, MIKE11, oltre a modelli elaborati *ad hoc* dalle singole Autorità di Bacino, sono solo alcuni dei *software* nati a tale scopo.

In questo lavoro, per lo studio sulla propagazione dell'onda di piena nei corsi d'acqua e dei fenomeni di esondazione la scelta è ricaduta sul software HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Centers River Analysis System*) sviluppato dall'*United States Army Corps of Engineering* (USACE). In particolare, è stata utilizzata la versione 4.1 rilasciata a gennaio 2010. Tale scelta è stata dettata dall'ampia diffusione del codice nell'ambito dei tecnici operanti nel settore dell'ingegneria idraulica, principalmente legata alla sua natura *freeware*, e dalle numerose sue applicazioni effettuate in tutto il mondo.

Per studiare il comportamento e l'evoluzione delle portate dei corsi d'acqua, l'ingegneria civile idraulica si basa su modelli governati da due equazioni fondamentali, l'equazione del moto (ovvero, teorema di Bernoulli applicato alle correnti di moto vario, ossia dipendente dal tempo) e l'equazione di continuità applicata alle correnti. L'insieme delle due equazioni prende anche il nome di equazioni di De Saint Venant. Il modello idrodinamico qui adottato (Figura 6) descrive invece il moto mono-dimensionale e stazionario (la velocità del fluido in un punto dipende solo dalle coordinate del punto stesso e non dal tempo) di una corrente tale che, in ogni sezione, la distribuzione delle pressioni possa essere considerata di tipo idrostatico.

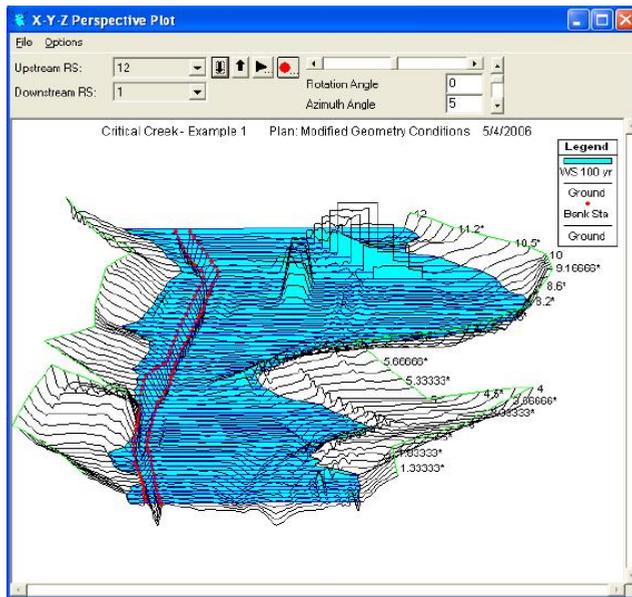


Figura 6 – Schematizzazione del corso d'acqua con il modello monodimensionale di HEC-RAS.

Il modello inoltre è *a fondo fisso*, cioè sono state trascurate le variazioni nel tempo delle quote del fondo dovute al trasporto solido, e può essere adottato per la descrizione di alvei fluviali con pendenze di fondo non troppo elevate (non superiori al 10%).

Tali ipotesi, benché semplificative, risultano tuttavia, accettabili, poiché, sebbene un'onda di piena si manifesti in moto vario, la portata al colmo persiste solo per durate dell'ordine di qualche minuto, in relazione alla superficie del bacino sotteso.

Le principali caratteristiche della corrente (livello idrico e velocità media) sono calcolate a partire da una sezione alla successiva risolvendo l'equazione che esprime il bilancio di energia della corrente tra le medesime sezioni (equazione di Bernoulli) attraverso una procedura iterativa nota come *standard step method*. In corrispondenza di particolari situazioni localizzate (ponti, tombini, stramazzi, risalti idraulici, etc.) per le quali il moto non può essere considerato gradualmente variato vengono utilizzate le equazioni di bilancio della quantità di moto o relazioni di tipo empirico. Per i dettagli relativi alle tecniche numeriche su cui il codice è basato si rimanda al manuale di utilizzo di HEC-RAS (Brunner, 2010).

### La generazione semi-automatica delle mappe di rischio

Come anticipato in precedenza, il presente lavoro si propone di mostrare un metodo alternativo per la generazione delle mappe di rischio fluviale, basato sull'impiego congiunto di un codice di modellazione fluviale molto diffuso in campo professionale (HEC-RAS, presentato nel paragrafo precedente) e della sua estensione per ambienti GIS (HEC-GeoRAS, funzionante in ambiente ESRI ArcGIS, Ackermann 2009). Quest'ultima estensione, in particolare, consente di estrarre da un DSM/DTM (preferibilmente ottenuto tramite tecnica LiDAR) le informazioni geometriche (planimetriche ed altimetriche) necessarie per la modellazione numerica tramite HEC-RAS, e di importare in un secondo tempo i risultati di tali simulazioni per la creazione di mappe di inondazione e per la definizione delle aree a rischio.

Tale procedura, sintetizzata in Figura 7, è costituita per la maggior parte da operazioni automatiche, che non richiedono vere e proprie misure *in situ* (eccezion fatta per un sopralluogo di carattere idraulico, per la taratura delle scabrezze delle aree golenali).

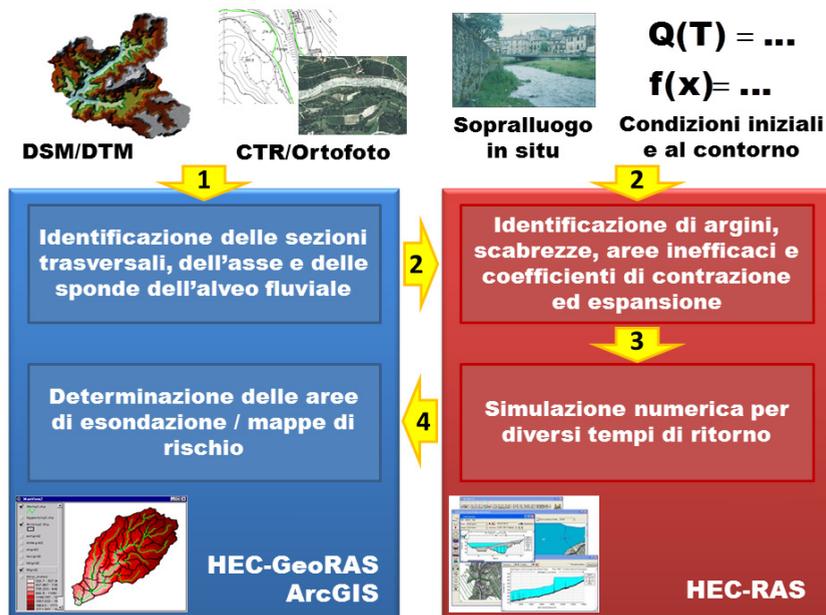


Figura 7 – Schematizzazione della procedura per il calcolo delle mappe di esondazione.

Come riportato in Figura 7, la procedura può essere suddivisa in quattro diverse fasi:

- 1) il DTM utilizzato per discretizzare l'alveo fluviale viene importato in HEC-GeoRAS/ArcGIS. Tale modello digitale deve essere caratterizzato da una risoluzione spaziale sufficientemente elevata (con interdistanza tra i punti non superiore ai 10 m, soprattutto nel caso in cui si tratti di modelli a maglia regolare) e deve contenere le informazioni relative alla batimetria dell'alveo (per questo motivo, si parla più correttamente di DTM e non di DSM). In aggiunta al modello digitale del terreno, è possibile importare in ArcGIS tutte le informazioni geografiche (CTR, ortofoto, etc.) che possono aiutare l'utente ad identificare i parametri morfologici del corso d'acqua, ovvero l'asse del fiume e le sponde laterali, oltre che un certo numero di sezioni trasversali da decidersi in funzione dell'andamento idrografico e della larghezza dell'alveo stesso;
- 2) i *layer* dall'ambiente GIS vengono importati nel software di modellazione numerica HEC-RAS, in cui è possibile introdurre, oltre alle condizioni iniziali (portata iniziale, dato un certo tempo di ritorno) ed al contorno (vincoli, tipo di moto) dell'analisi, gli ulteriori parametri necessari per la simulazione idraulica ovvero, per ciascuna sezione trasversale, la posizione degli argini, delle scabrezze, delle aree inefficaci e dei coefficienti di contrazione ed espansione. A proposito di questi parametri, a meno che non si vogliano utilizzare dei parametri approssimati ottenuti dall'esperienza o da un'analisi approssimativa tramite ortofoto aeree, è necessario condurre un'analisi *in situ* al fine di verificare, ad esempio, l'effettiva situazione delle aree golenali. Questa operazione, l'unica da compiersi non in ufficio, rappresenta anche il "collo di bottiglia" dell'intera procedura. Occorre comunque considerare come tale operazione abbia dei tempi di esecuzione ridotti (stimabili in mezza giornata lavorativa per lunghezze dell'asta

- fluviale di 15-20 km, oltre al tempo di raggiungimento dell'area di interesse), per nulla confrontabili con quelli necessari per l'esecuzione di un rilievo topografico di dettaglio;
- 3) dopo la definizione dei parametri morfologici e morfometrici dell'alveo fluviale, viene eseguita la modellazione numerica vera e propria, tramite il codice di calcolo HEC-RAS. In questo modo è possibile simulare la risposta del corso d'acqua a portate differenti, ciascuna delle quali è caratterizzata da uno specifico tempo di ritorno;
  - 4) i risultati della modellazione numerica vengono importati nuovamente in ambiente GIS, attraverso l'applicativo HEC-GeoRAS. In questo ambiente è quindi possibile generare le mappe di esondazione per ciascun tempo di ritorno considerato, incrociando i dati ottenuti dalle simulazioni idrauliche con quelli altimetrici estraibili da un DTM o da un DSM. Tale modello digitale, anche diverso da quello utilizzato nella prima fase, potrà essere caratterizzato da una risoluzione spaziale inferiore (punti comunque non più distanti di 20-25 m, onde evitare di discretizzare troppo il terreno), e dovrà avere un'estensione sufficiente da coprire tutte le aree potenzialmente esondabili. In questa fase risulta particolarmente utile ricorrere all'uso di un DSM, che contiene oltre alle informazioni relative all'andamento del terreno, anche quelle altimetriche dei possibili ostacoli che potrebbero interagire con l'evento alluvionale (edifici, rilevati stradali, etc.).

Nel seguito si riporta un'applicazione della procedura sopra descritta, applicata alla fascia fluviale del Fiume Sesia a Vercelli.

### **Il caso studio del Fiume Sesia**

La procedura per la determinazione delle mappe di esondazione è stata applicata al tratto del Fiume Sesia compreso tra la confluenza con il Torrente Cervo, nei pressi di Vercelli, e la chiusa idraulica posta nei pressi di Prarolo (VC), al confine tra Piemonte e Lombardia, per una lunghezza complessiva dell'asta fluviale di circa 16 km (Figura 8).

Preliminarmente alla procedura è stato effettuato un sopralluogo dell'area interessata, in maniera da valutare le scabrezze delle aree golenali (Figura 9). Si è provveduto inoltre a raccogliere i dati geografici disponibili per l'area di interesse.

In particolare, è stato possibile reperire i seguenti dati:

- DTM GRID Piemonte Est (precisione 1 m, passo 10 m) della Regione Piemonte;
- DTM GRID Lombardia (precisione 2 m, passo 2 m) della Regione Lombardia;
- DSM PST-A (precisione 1 m, passo 1 m) del Ministero dell'Ambiente;
- CTR in scala 1:10000 della Regione Piemonte e della Regione Lombardia;
- Ortofoto del Portale Cartografico Nazionale (PCN).

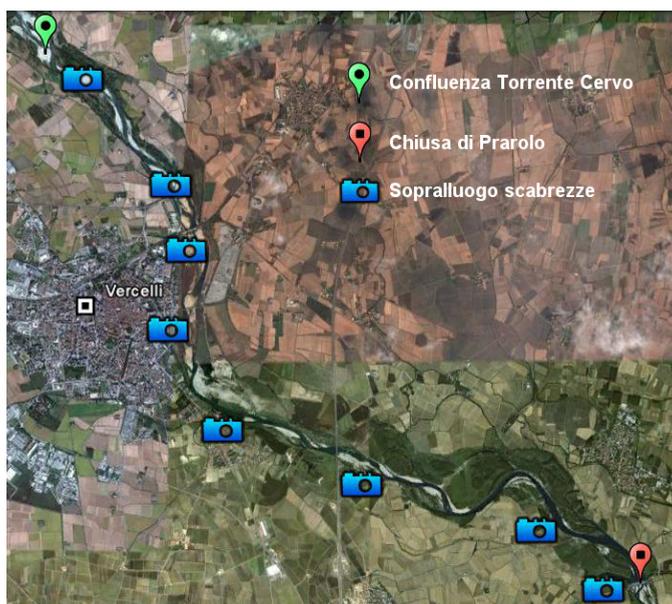


Figura 8 – Il tratto del Fiume Sesia considerato, e i punti in cui è stato effettuato il sopralluogo per le scabrezze dell'alveo e delle aree golenali.



Figura 9 – Immagini del sopralluogo per le scabrezze: sezione di chiusura (a) e sezione intermedia (b).

A seguito della verifica sulla coerenza tra i modelli digitali del terreno di Regione Piemonte e Regione Lombardia, questi sono stati uniti in maniera da coprire l'intera area di interesse. Il risultato di tale operazione è stato un unico DTM, grigliato in una maglia regolare a passo 10 m e proiettato nel sistema di riferimento UTM-WGS84 (ETRF89 - IGM95). Tale DTM è stato poi importato in ambiente ArcGIS, insieme alle CTR regionali e alle ortofoto disponibili *on-line* sul PCN. Attraverso l'applicativo HEC-GeoRAS (Figura 10) è stato quindi possibile identificare l'asta fluviale, le sponde del corso d'acqua, oltre ad una trentina di sezioni trasversali necessarie per discretizzare numericamente l'alveo fluviale in HEC-RAS.

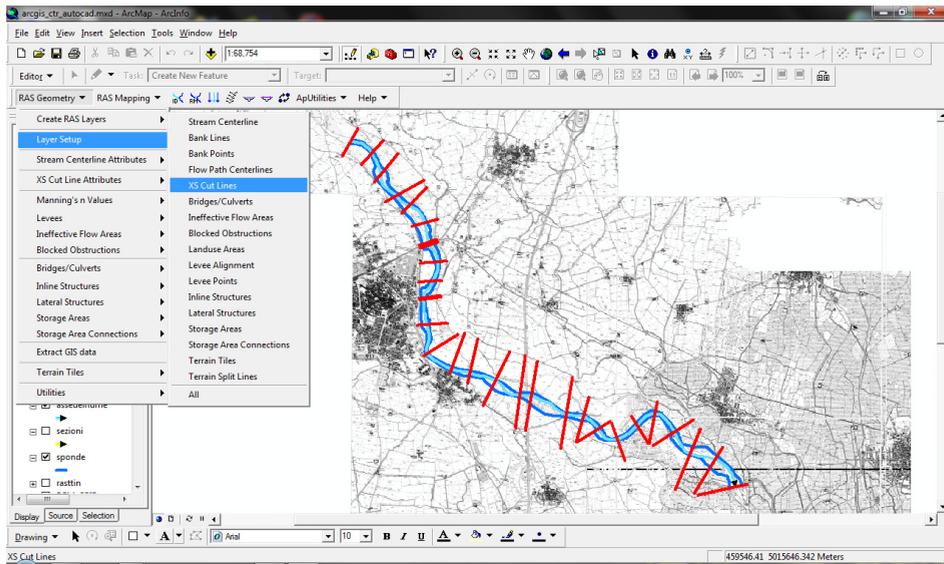


Figura 10 – Identificazione delle caratteristiche morfologiche dell'alveo tramite HEC-GeoRAS.

Il modello idraulico è stato realizzato considerando condizioni di moto permanente, ipotizzando quindi valori di portata costanti sull'intero tratto, poiché non sono presenti lungo l'asta intersezioni tali da modificare sensibilmente il bilancio idrologico (Figura 11).

In particolare, i livelli idrici del fiume sono stati stimati per le portate di piena corrispondenti a tempi di ritorno di 20, 50, 100, 200 e 500 anni, attraverso una procedura di stima locale sulla serie dei massimi annui di portata di piena basata sulla distribuzione di Gumbel.

La condizione al contorno richiesta per la simulazione idraulica è stata il passaggio per l'altezza critica in corrispondenza della sezione a valle (chiusa di Prarolo). Tale condizione è verificata nella realtà dalla presenza di un salto di fondo, visibile anche in Figura 9, ed è giustificata dalla debole pendenza dell'asta fluviale, che induce un moto di corrente lenta.

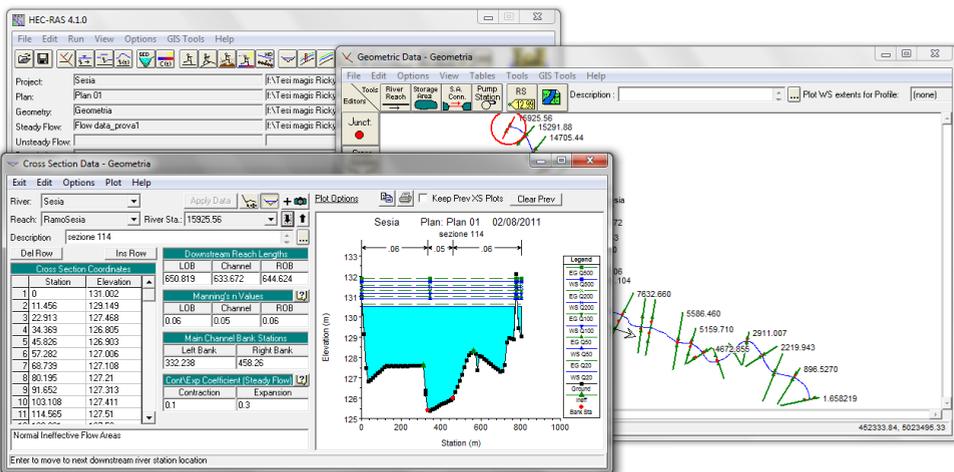


Figura 11 – Modellazione idraulica tramite HEC-RAS: risultati della simulazione per la sezione trasversale di monte.

A valle della simulazione idraulica, i risultati ottenuti sono stati importati nuovamente nell'ambiente GIS attraverso l'applicativo HEC-GeoRAS. La Figura 12 riporta la mappa di esondazione ottenuta partendo dai livelli idrici stimati ed incrociandoli con il DSM sopra citato, in maniera da ottenere l'interazione tra l'area esondata e gli eventuali ostacoli (fabbricati, rilevati stradali, etc.) presenti. Dalla sovrapposizione della mappa di esondazione così ottenuta con le CTR regionali è stato altresì possibile individuare i fabbricati a rischio idraulico (Figura 12) in funzione dei diversi tempi di ritorno considerati.

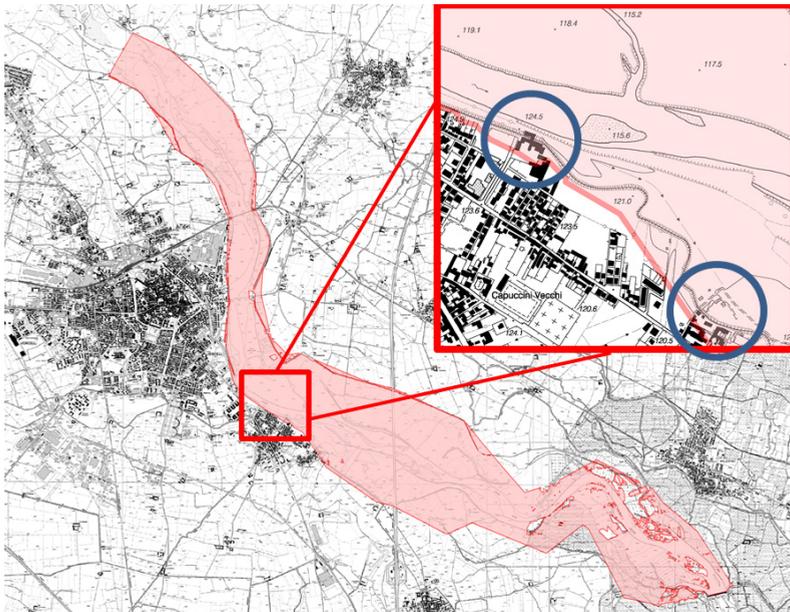


Figura 12 – Mappa di esondazione con tempo di ritorno  $T = 500$  anni ed ingrandimento (in alto a destra) con evidenziati i fabbricati a rischio.

## Conclusioni

La conoscenza delle aree di esondazione è oggi un aspetto fondamentale per la definizione delle fasce di rischio idraulico. In questo studio è stato presentato un approccio semi-automatico per la creazione delle mappe di esondazione, a partire dalle informazioni geografiche disponibili nei DTM/DSM e nelle CTR, spesso a carattere regionale, realizzati dalle Pubbliche Amministrazioni. La procedura descritta è stata sviluppata utilizzando i software gratuiti HEC-RAS ed HEC-GeoRAS, quest'ultimo operante nel ben noto ambiente ESRI ArcGIS.

Tale procedura è stata applicata ad un tratto di circa 16 km del Fiume Sesia (bacino del Po) in prossimità dell'abitato di Vercelli. I risultati ottenuti hanno consentito di determinare i livelli idrici per diversi tempi di ritorno, e di individuare le aree a rischio. Tale procedura risulta facilmente applicabile e ripetibile da parte di personale tecnico e fornisce una prima stima, già molto dettagliata, delle aree soggette a rischio idraulico.

Come ben noto, l'utilizzo di sezioni longitudinali e trasversali estratte da un modello digitale del terreno introduce un ulteriore fattore di incertezza legato all'accuratezza altimetrica (ed in parte anche a quella planimetrica) del modello stesso. Risulta pertanto evidente come l'impiego di DTM ad elevata risoluzione consenta di migliorare la stima delle mappe di esondazione (Cook e Merwade, 2009).

Un'ulteriore problematica è collegata alla presenza di manufatti o infrastrutture idrauliche presenti lungo l'asta fluviale, difficilmente individuabili attraverso il solo uso di modelli digitali. A tal proposito, è pertanto ancora necessario ricorrere a rilievi topografici di dettaglio ad integrazione delle informazioni estraibili da un DTM.

Il presente lavoro è stato in parte condotto nell'ambito del Progetto Interreg Italia/Svizzera HELIDEM "Helvetia-Italy Digital Elevation Model" (ID: 13881216).

### **Bibliografia**

- AA.VV. (1996), *Piano Stralcio delle Fasce Fluviali*, Annesso sul monitoraggio morfologico e del trasporto solido degli alvei, Autorità di bacino del Fiume Po, 9-14.
- AA.VV. (2009), *Rilievo di dettaglio della batimetria costiera laziale con tecnologie LiDAR e valutazione delle caratteristiche fisiche e biologiche in aree marine della costa laziale di specifico interesse ambientale*, Rapporto della fase 1A - Ricerca bibliografica di settore e implementazione della metodologia, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).
- Ackermann C.T. (2009), *HEC-GeoRAS User's Manual*, USACE (US Army Corps of Hydraulic Engineers), Davis (CA-USA).
- Brovelli M.A., Cannata M., Longoni U.M. (2004), "Estrazione di DTM da scansione laser: il test comparativo ISPRS", *Atti della VI Conferenza Nazionale ASITA*, Perugia.
- Brunner G.W. (2010), *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual*, USACE (US Army Corps of Hydraulic Engineers), Davis (CA-USA).
- Casella V. (2002), "Estrazione del DTM di precisione dell'argine di un fiume: fotogrammetria analitica, fotogrammetria digitale e laser scanning a confronto", *Atti della VI Conferenza Nazionale ASITA*, Perugia.
- Ciavola P., Perini L., Luciani P., Armaroli C. (2006), "Il rilievo LiDAR della costa dell'Emilia-Romagna: uno strumento per la valutazione dell'impatto delle mareggiate sulle zone costiere e per la caratterizzazione della morfodinamica delle spiagge", *HydroGeo*, 1/2006: 18-25.
- Cicciodemarco S. (2003), *Applicazione del LiDAR batimetrico per la costruzione tridimensionale della morfologia e delle strutture sommerse in zone costiere: il caso di Broward County (FL)*, Tesi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio, Università La Sapienza, Roma.
- Cook A., Merwade V. (2009), "Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping", *Journal of Hydrology*, 377: 131-142.
- Covelli C. (2006), *Sulla formazione di brecce nei rilevati arginali: implicazioni relative alla protezione idraulica del territorio*, Tesi di Dottorato, Università Federico II, Napoli.
- Surian N., Rinaldi M., Pellegrini L. (2009), *Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive*, edizioni CLEUP, Padova, 25-36.